

7. Tagung

Industriearbeitskreis Trockeneisstrahlen



Optimierung von Strahldüsen durch Simulation

Produktionstechnisches Zentrum
Berlin

25. November 2005

Michael Kretzschmar



Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Gliederung

- Computational Fluid Dynamics (CFD) – Allgemein
- Vorgehensweise
- CFD – Grundlagen
- Anwendungsgebiete
- Strömungstechnische Untersuchungen
- CFD beim Trockeneisstrahlen
- Vereinfachungen, Grenzen, Einstellungen
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

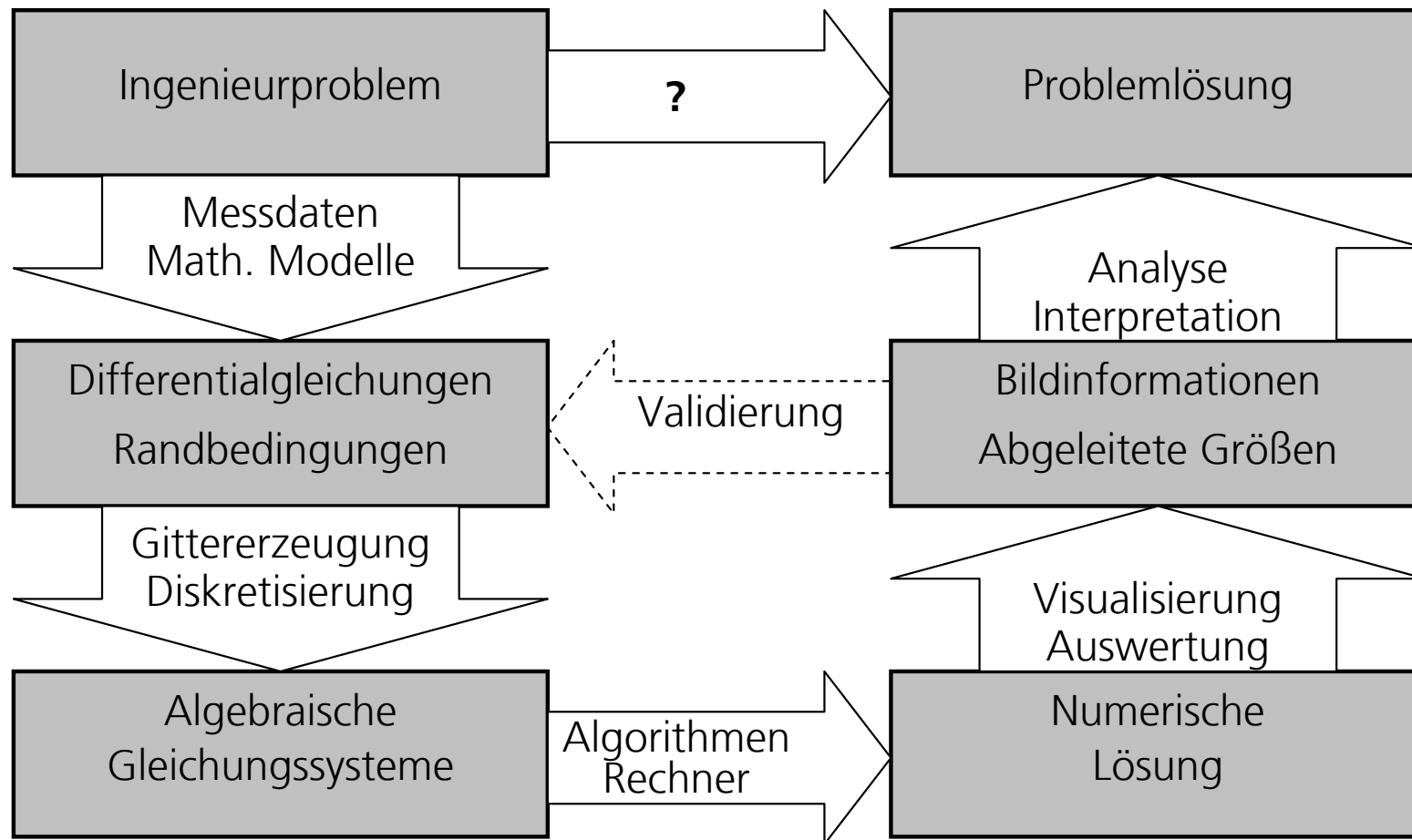


Computational Fluid Dynamics - CFD

- Kenntnisse über Eigenschaften technischer Systeme
- Theoretisch, Experimentell, Numerisch
- Vorteile
 - Ergebnisse oft schneller vorhanden
 - Parametervariation
 - Globale und gleichzeitige Berechnung problemrelevanter Größen
- Nachteile
 - Keine Automatische Lösungsfindung
 - Auswahl der Modellparameter sehr komplex
 - Gute Kenntnisse über physikalische Zusammenhänge



Vorgehensweise



CFD - Grundlagen

- Erhaltungsgleichungen
 - Impuls
 - Masse
 - Energie

- Zusätzliche Unbekannte
 - Turbulenz
 - Kompressibel
 - Gravitations-, Auftriebskräfte

- Rechenleistung
 - Laminar – vier Gleichungen
 - Turbulent – mindestens sechs Gleichungen

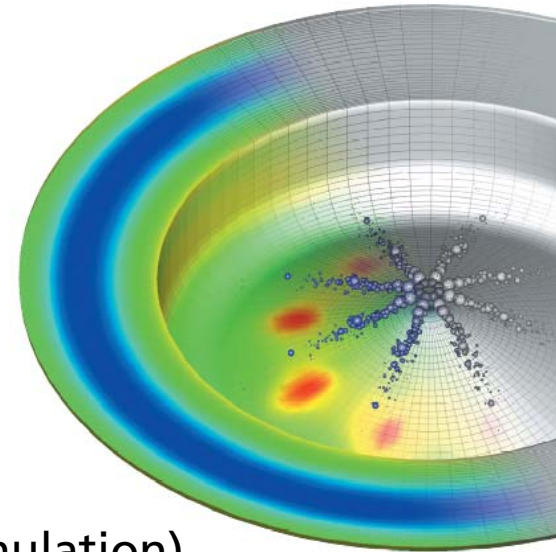


CFD - Grundlagen

- Diskretisierung
 - Raum – numerisches Gitter
 - Zeit – Ausbreitung der Strömung

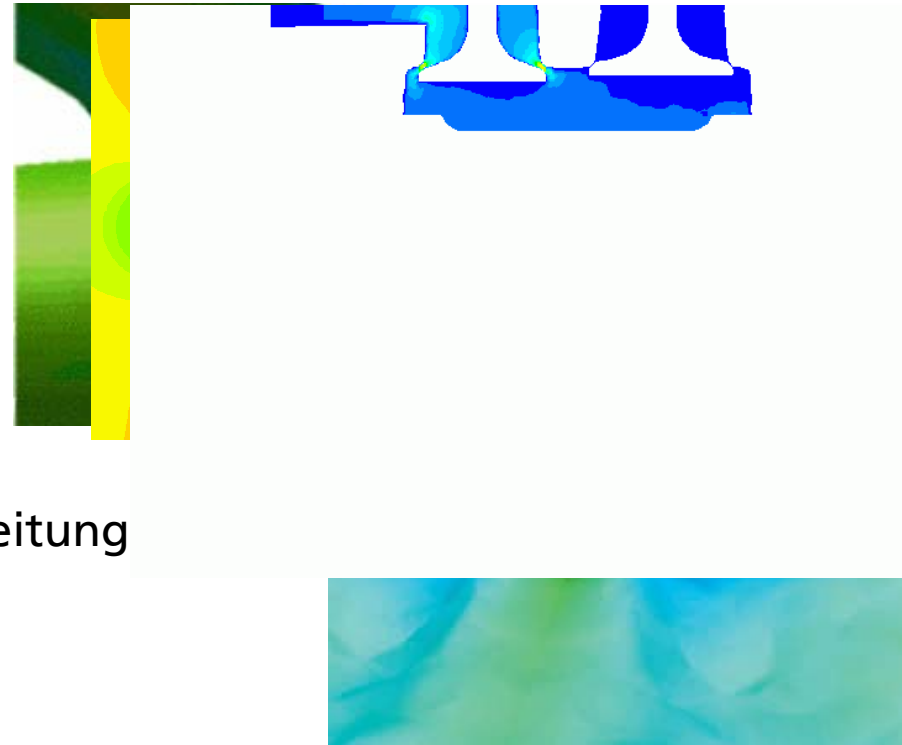
- Turbulente Strömung
 - Direkte Numerische Simulation
 - Grobstruktur Simulation (Large-Eddy-Simulation)
 - Turbulenz Modelle

- Mehrkomponentenströmungen



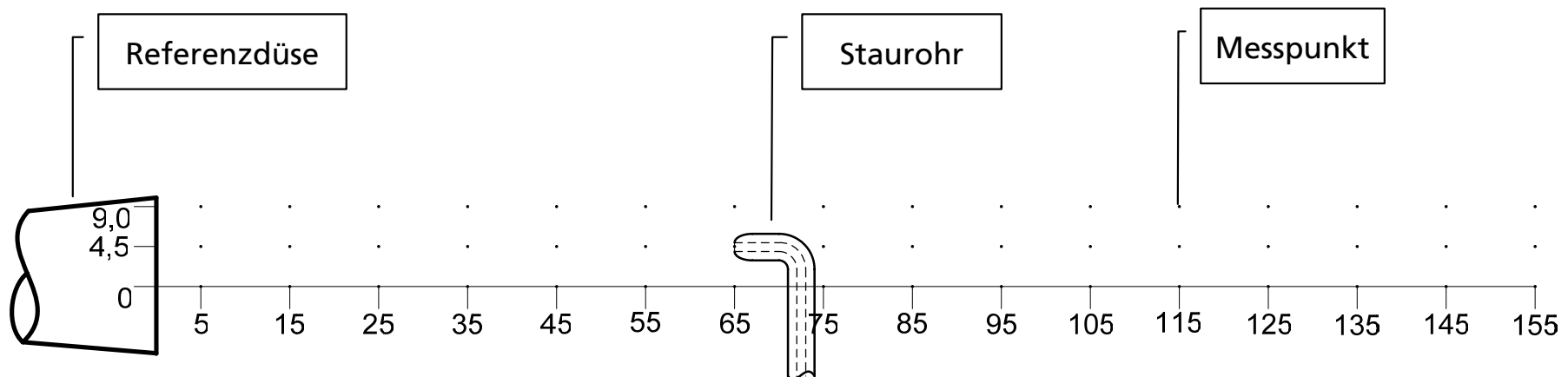
Anwendungsgebiete der CFD

- Akustik
- Turbomaschinen
- Freie Oberflächen
- Wärme- und Stofftransport
- Verbrennung, chemische Reaktionen
- Freie Konvektion und Schadstoffausbreitung
- Fluid-Struktur-Wechselwirkungen



Strömungstechnische Untersuchung einer Referenzdüse

- Verifikation der simulierten Strömung
- Geschwindigkeitsmessung
- Geschwindigkeitsprofil im Strahlkern
- Berechnung der Geschwindigkeit



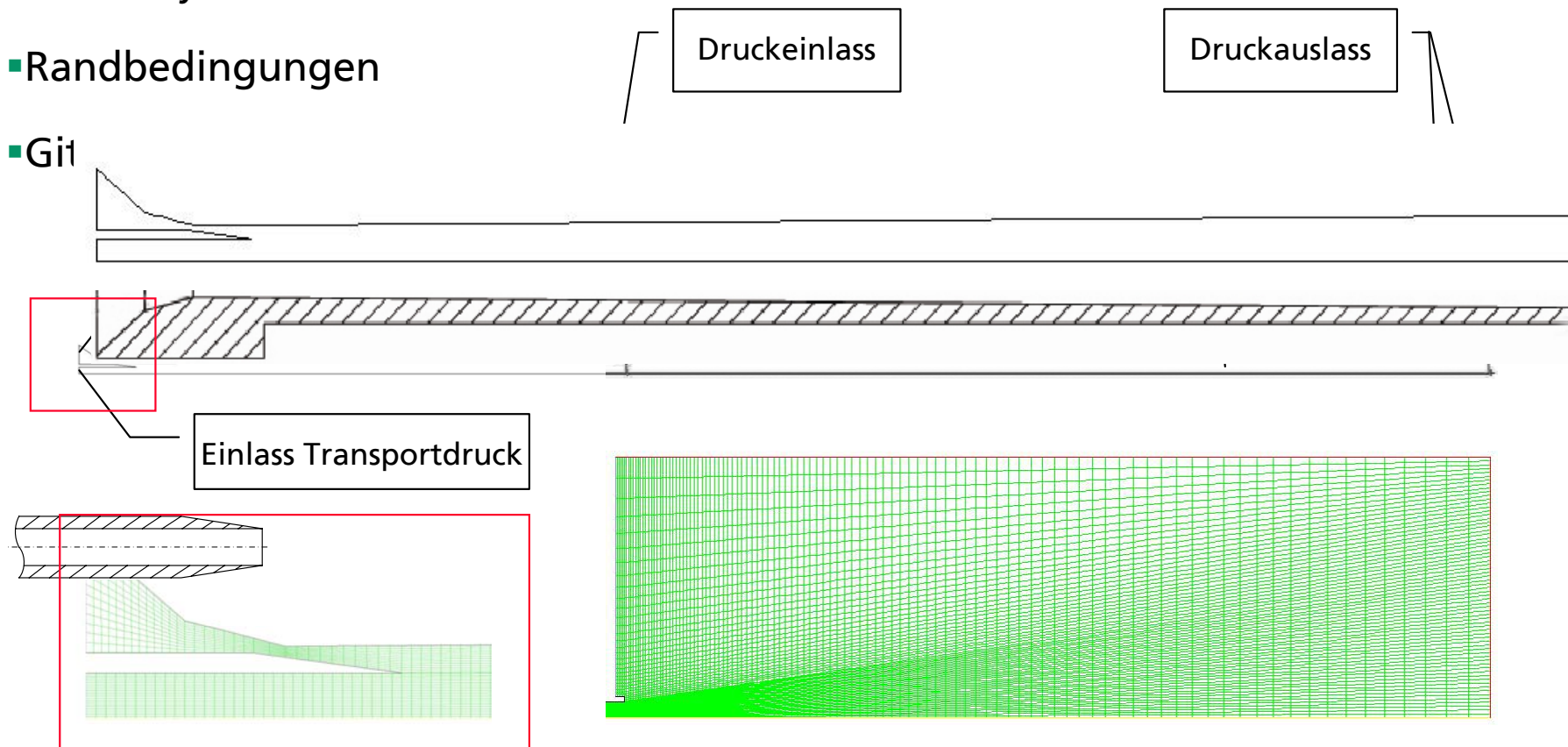
CFD beim Trockeneisstrahlen

- Unter- bis Überschallgeschwindigkeiten
- Kompressibel
- Turbulent
- Innen- und Außenströmung
- Mehrkomponentenströmung
- Phasenübergang Sublimation



Geometrie- und Gittergenerierung

- Achsensymmetrisch
- Randbedingungen
- Git

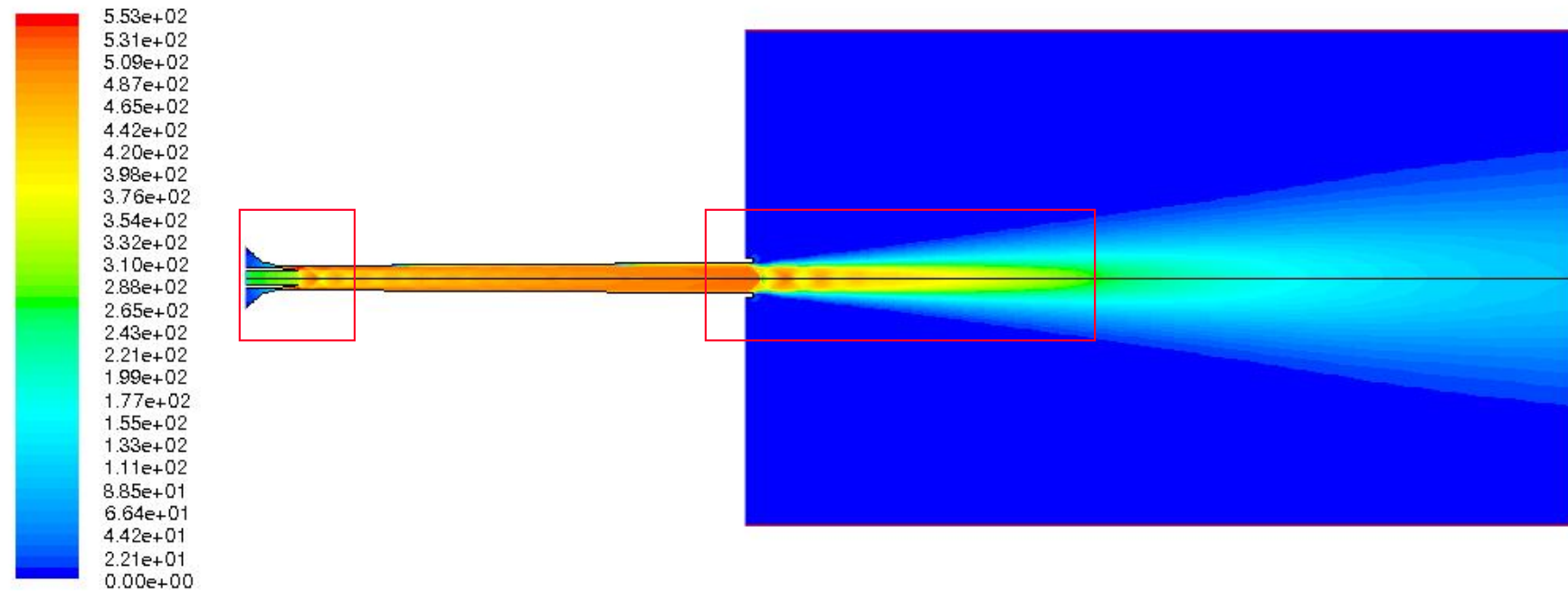


Vereinfachungen/Grenzen/Einstellungen

- Berechnung → stationär
- Berechnungsgebiet → zweidimensional, achsensymmetrisch
- Turbulenzmodell → (k, ϵ) -Modelle
- Kein Sublimationsmodell
- Strahldruck: 4, 6, 8, 11 bar
- Transportdruck: 4 bar = konst.
- Abbruchkriterium
- Vorgehensweise
 1. Luftströmung
 2. Partikelbewegung



Ergebnisse



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Sep 21, 2005
FLUENT 6.2 (axi, coupled imp, rke)

Geschwindigkeitsverteilung bei einem Strahldruck von 8 bar

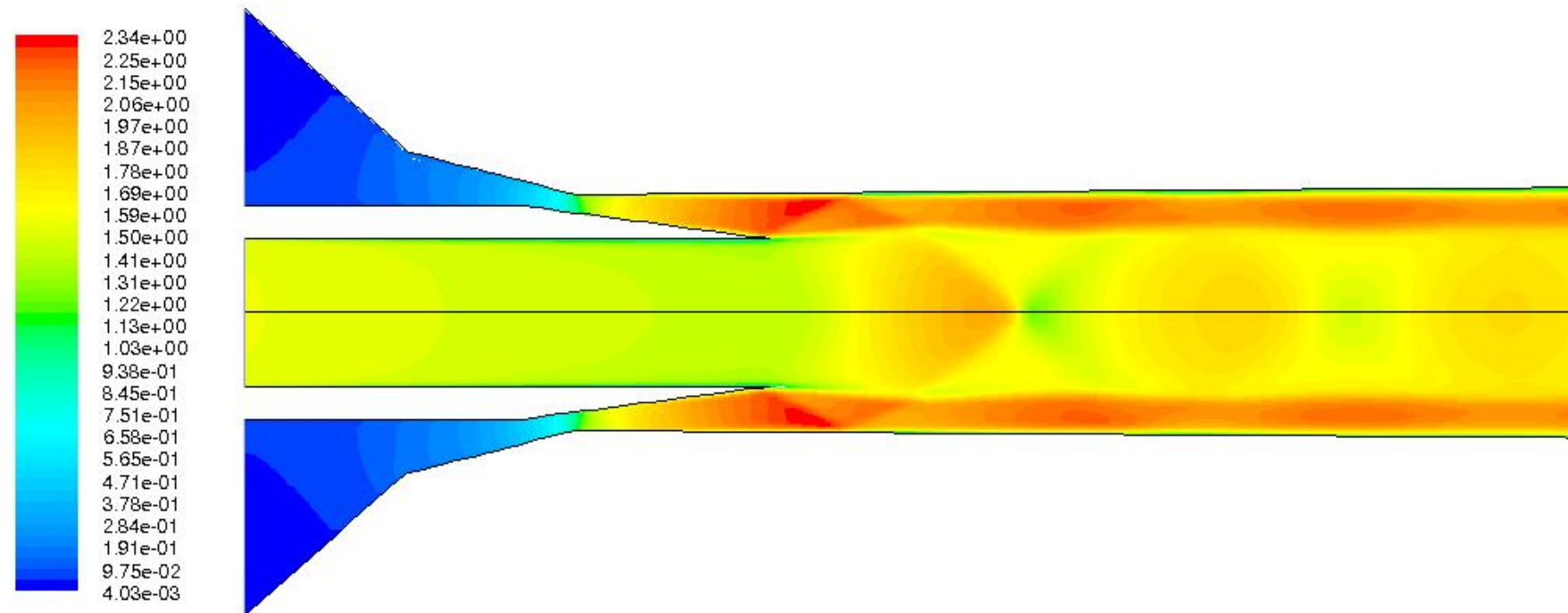


Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Ergebnisse



Contours of Mach Number

Sep 16, 2005
FLUENT 6.2 (axi, coupled imp, rke)

Machzahlverteilung am Düsen Eintritt bei Strahldruck 8 bar

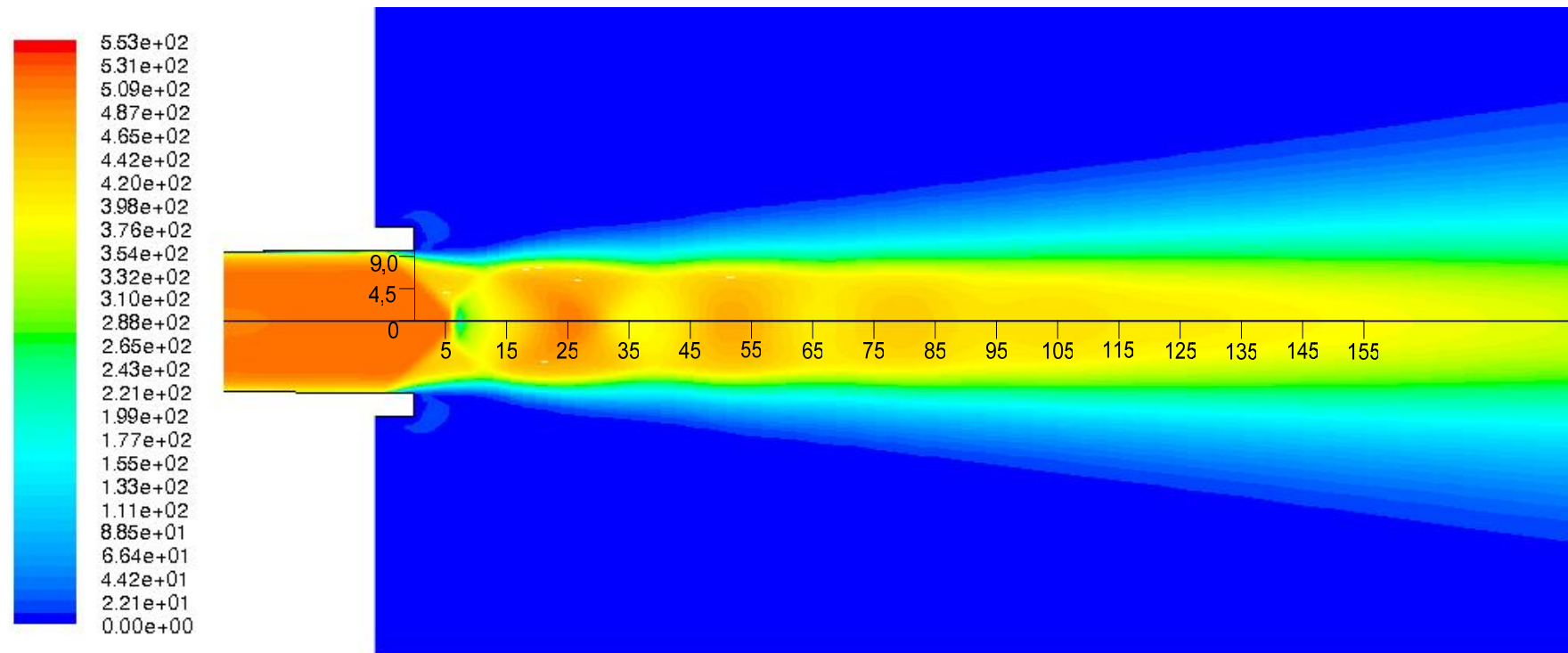


Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Ergebnisse



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Nov 22, 2005
FLUENT 6.2 (axi, coupled imp, rke)

Detailansicht der Geschwindigkeitsverteilung bei einem Strahldruck von 8 bar

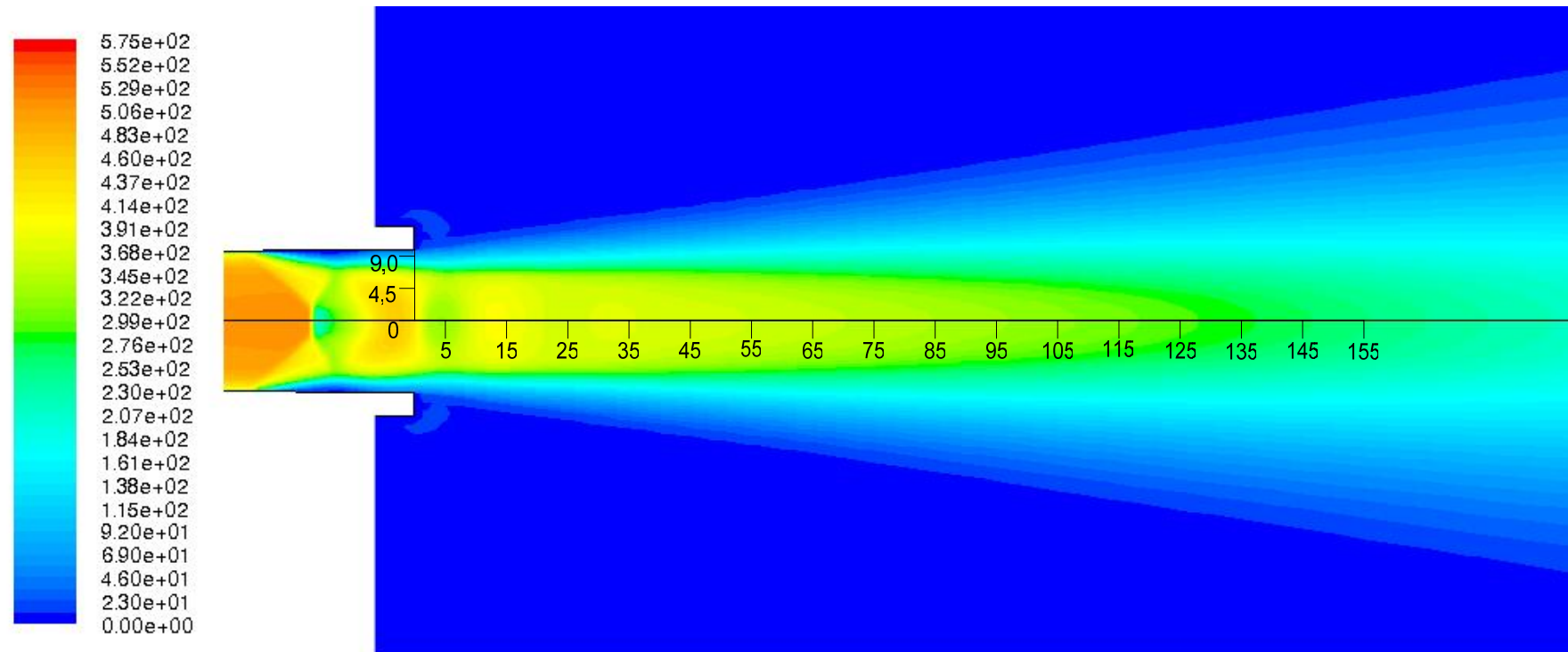


Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Ergebnisse



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Nov 22, 2006
FLUENT 6.2 (axi, coupled imp, rke)

Detailansicht der Geschwindigkeitsverteilung bei einem Strahldruck von 4 bar



Fraunhofer
Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



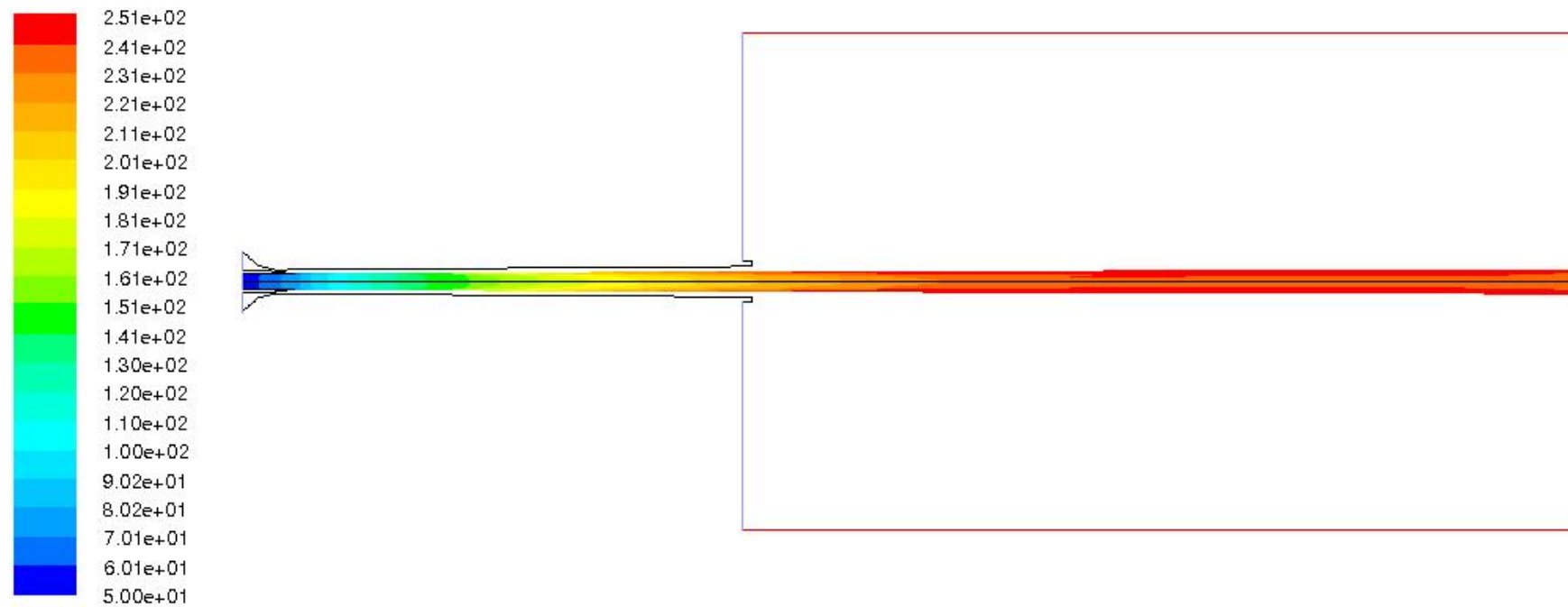
Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

Partikelbewegung

- Euler-Lagrange-Verfahren
- Kugelmodelle
- Phasenübergang nicht berücksichtigt
- Dichte der Pellets = 1300 kg/m^3
- Literatur [Haberland99]:
 - Massenstrom = 95 kg/h
 - Strahldruck = 11 bar
 - Geschwindigkeit = 249 m/s



Partikelbewegung



Particle Traces Colored by Particle Velocity Magnitude (m/s)

Nov 22, 2005
FLUENT 6.2 (axi, coupled imp, rke)



Zusammenfassung und Ausblick

- Turbulente Strömung, Mehrphasen- und Mehrstoffströmung, Phasenwechsel
- Bereitstellung eines Modells zur Strömungssimulation
- Qualitative Aussagen zur Geometrieoptimierung von Strahldüsen möglich
- Reduzierung der Anzahl der Düsenprototypen

- Verbesserung des Modells durch Validierung mittels Hochgeschwindigkeitskamera (300.000 Bilder pro Sekunde)
- Erweiterung auf dreidimensionales Simulationsmodell mit Phasenübergängen
- Entwicklung von Modellen zur Schallreduzierung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik



Institut für
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin